

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ
СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ
И ПЛАВНО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ТЕЧЕНИЙ**

*Докт. техн. наук РОГУНОВИЧ В. П., асп. ЕВДОКИМОВ В. А., инж. ЛЮТКО Г. И.,
канд. техн. наук МИКУЛОВИЧ В. И., ШНИТКО В. Т., асп. ВАРФОЛОМЕЕВ А. Ю.*

*Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный университет*

Общепризнано, что частота возникновения и интенсивность чрезвычайных явлений в гидросфере в последнее время возросли [1, 2]. Возникла, на первый взгляд, противоречащая здравому смыслу ситуация: чем выше уровень цивилизации, тем больше ущерб от экстремальных явлений в гидросфере.

На территории республики ежегодно отмечается 25–30 опасных гидрометеорологических явлений, влекущих серьезные экологические и экономические последствия: разрушение населенных пунктов, памятников культуры, гибель людей и многое другое [3]. Анализ чрезвычайных ситуаций на водохранилищах и прудах Республики Беларусь за предыдущие годы, выполненный Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды [4], показал необходимость более тщательного изучения состояния гидротехнических сооружений, установленный срок технической эксплуатации которых заканчивается или уже закончился. Они исчерпали срок безаварийной работы. Только в 2006 г. на гидротехнических сооружениях произошли две чрезвычайные ситуации. Оценки же чрезвычайных ситуаций за предыдущие годы показали, что инциденты на гидротехнических сооружениях повторяются ежегодно [4].

Эти негативные тенденции частично объясняются глобальным потеплением климата, а, следовательно, повышением локальных градиентов температуры, давления и интенсификацией переноса влаги, что отразилось в увеличении числа ливней, разрушительных шквалов и других природных катаклизмов.

Последние три десятилетия на территории Беларуси характеризовались регулярным приращением температур примерно на +0,4 °С по отношению к средней многолетней: 1971–1980 гг. от –0,3 до 0,0 °С, 1981–1990 гг. – +0,4 °С, 1991–2000 гг. – +0,8 °С; есть основания полагать, что приращение за 2001–2010 гг. составит не менее +1,2 °С [5].

Однако большое значение имеет и техногенный фактор. Строительство ГЭС и других хозяйственных объектов в поймах преобразует водный режим бассейнов рек. Все чаще затопливаются обустроенные поймы. Ущерб от затоплений даже защищенных земель продолжает увеличиваться во всех странах.

Подтверждением важности возникших проблем являются регулярно проводимые международные конгрессы специалистов практически всех стран и континентов, посвященные исключительно экстремальным явлениям в гидросфере. К примеру, последний подобный конгресс состоялся в Новосибирске в 2005 г. [6–8].

Таким образом, вследствие влияния природных и техногенных факторов частота возникновения и интенсивность чрезвычайных явлений в гидросфере существенно возрастают. Повышается вероятность возникновения террористических актов, а также различного рода аварий на напорных гидросооружениях, как следствие – возрастает угроза динамического воздействия волн на объекты нижнего бьефа водохранилищ.

Некоторые водохранилища расположены выше многих населенных пунктов и крупных городов (Минск, Краснодар и др.).

Жилые, хозяйственные и культурные объекты многих поселений расположены в нижних бьефах водохранилищ, фактически не защищены от динамического воздействия при возникновении экстремальных режимов затопления. Они построены без учета сложившейся современной гидрологической ситуации и необходимых гидравлических обоснований.

Подобные обоснования должны учитывать возможные динамические воздействия волн на объекты, расположенные в нижних бьефах гидросооружений, время добегания волн и особенности движения прерывной и непрерывной волн по, как правило, закустаренной, залесенной и неорганизованно обустраиваемой пойме. В силу сложности математического моделирования движения прерывной и непрерывной волн по пойме решить упомянутые задачи, особенно задачи динамического воздействия прерывной волны, исключительно математическими методами не представляется возможным, что, в свою очередь, не позволяет оценивать устойчивость проектируемых и защиту существующих в пойме объектов.

В сложившейся ситуации представляется эффективным создание моделей объектов в гидравлических лабораториях для изучения физических процессов динамического и кинематического взаимодействия прерывных и непрерывных волн с объектами в нижних бьефах гидросооружений. Кроме того, эти наблюдения могут быть использованы непосредственно в качестве экспериментальных данных при совершенствовании математических моделей движения и динамического воздействия прерывных волн на объекты.

Выполнение подобного рода исследований затруднительно без средств автоматизации процесса сбора и обработки экспериментальных наблюдений, поскольку характерное время распространения волны непродолжительно. Использование имеющейся инструментальной базы большинства гидравлических лабораторий (недостатком которых являются большая инерционность измерительного оборудования, низкий уровень автоматизации эксперимента) не привело бы к достижению желаемого результа-

та, что делало необходимым создание автоматической измерительной информационной системы (ИИС) для исследования разрывных и плавно изменяющихся течений.

Создание ИИС. Сотрудниками кафедры гидротехнического и энергетического строительства БНТУ совместно с кафедрой радиофизики БГУ при поддержке Министерства образования Республики Беларусь по гранту № ГР2007905 создана экспериментальная многоканальная автоматическая ИИС для изучения разрывных и плавно изменяющихся течений жидкостей и газов, в том числе и для решения многих актуальных задач.

Работы, посвященные экспериментальному исследованию движения прерывных и непрерывных волн, имеются, однако очень мало работ, исследующих вопросы динамического воздействия прерывных волн на объекты. Поэтому в настоящее время оценки динамического воздействия волн на объекты сводятся к определению сил гидростатического и гидродинамического (по средней скорости) давления.

Для оценки устойчивости объектов при воздействии прерывных волн учет только упомянутых сил недостаточен. Очевидно, что при нестационарном прерывном движении воды, когда скорости на гребне могут быть значительно больше средней, давление верхних струй воды – оно, как известно, пропорционально квадрату локальной скорости – будет большим, чем определенное по средней в сечении скорости. Поэтому опрокидывающий момент будет больше, что, на наш взгляд, существенно при оценке устойчивости объекта, но в настоящее время не учитывается.

В [9–11] содержится информация о применении в экспериментальных исследованиях аппаратно-программных комплексов, позволяющих регистрировать определенные параметры, характеризующие процесс распространения прерывной волны во времени. Например, в [11] приведен график, описывающий изменения гидродинамического давления при прохождении прерывной волны.

При создании ИИС разработчики стремились достичь следующих целей:

- повышения точности и достоверности результатов наблюдений при достаточной полноте;

- уменьшения времени подготовки системы к измерениям;

- обеспечения возможности использования ИИС в составе различных экспериментальных установок, в том числе и в работе других организаций.

Система позволяет с заданной и необходимой частотой дискретизации во времени измерять характеристики разрывных и плавно изменяющихся процессов при помощи десятков разнородных датчиков. Первая модификация ИИС ориентирована на измерение осредненных по микросекундным интервалам полей локальных давлений, скоростей воды и уровней на различных вертикалях в окрестности исследуемого объекта.

Результаты наблюдений обрабатываются в автоматическом режиме и представляются в виде осредненных значений параметров с доверительными интервалами определенной доверительной вероятности [12].

Принципиальная особенность созданной ИИС – возможность оперативной подкалибровки датчиков перед измерениями и поверки калибровки после измерений.

Функциональные возможности ИИС. С помощью ИИС при экспериментальных исследованиях разрывных течений для определения динамического воздействия прерывных волн на сооружения в нижних бьефах водохранилищ предусмотрены возможности выполнения измерений в трех и более точках следующих параметров волны:

- полей давлений в пределах 500–20000 Па;
- уровней воды в пределах 0,05–2,0 м;
- полей скоростей в пределах 0,02–5,0 м/с.

Пределы измерений и количество датчиков можно изменять в широких интервалах.

Для измерения пульсаций скоростей и давлений, изменения которых происходят в течение миллисекунд, необходимо применять приборы с малой инерционностью. Существующие методы и средства в большинстве случаев сводятся к преобразованию механических и термических воздействий потока в электрические сигналы, скорости протекания которых являются достаточно большими по сравнению с гидродинамическими процессами.

Измерение давлений. Для измерения давления использованы датчики фирмы HONEYWELL,

предназначенные для измерения высоких, средних, малых и особо малых давлений сухих и влажных газов, жидкостей, в том числе агрессивных. В соответствии с измеряемым типом датчики подразделяются на абсолютные, относительные, дифференциальные и вакуумные.

Основой датчиков является тензочувствительный элемент. Он состоит из четырех идентичных пьезорезисторов, имплантированных на поверхность тонкой кремниевой диафрагмы и включенных по схеме моста Уинстона. Внешнее давление или усилие вызывает деформацию диафрагмы. В зависимости от степени деформации диафрагмы происходит преобразование приложенного давления (механический вход) в изменение сопротивления и силы тока (электрический выход).

Измерение уровней воды. Для измерения уровней волнового потока, а также периодов, длин и скоростей распространения волн применяются электродные кондуктометрические датчики. Принцип работы кондуктометрического электродного уровнемера основан на зависимости измеряемого значения электрической проводимости воды от величины погружения электродной системы в воду. Величина измеряемого уровня воды пропорциональна силе тока, протекающего через электродную систему датчика, при условии стабильности питающего переменного напряжения U .

Достоинства кондуктометрических уровнемеров: простота конструкции и «мгновенное» измерение.

Недостаток кондуктометрических уровнемеров заключается в зависимости удельной проводимости от температуры и химического состава воды. Эта зависимость может быть значительно уменьшена экспериментальным путем: подкалибровкой перед измерением и поверкой после измерений, т. е. опытным путем устраняется влияние указанных параметров на результат измерения уровня воды.

Измерение локальных скоростей движения воды можно производить микровертушкой, которая градуируется на специальном стенде и характеризуется высокой устойчивостью градуировочной кривой [13].

Измерение скорости микровертушкой производится следующим образом. К лопастному винту на расстояние долей миллиметра подводится изолированный электрод, торец которого срезан. При погружении вертушки в воду проводимость участка электрической цепи «торец электрода – заземление» зависит от расположения лопастей винта. Наибольшая сила тока в цепи будет тогда, когда расстояние между лопастью крыльчатки и торцом электрода будет максимальным. При приближении лопасти винта к торцу электрода сопротивление участка электрической цепи увеличивается. Так формируется импульс, который фиксируется регистрирующим прибором. При этом регистрирующий прибор будет фиксировать два, четыре пика за один оборот винта при двух, четырех лопастях соответственно.

Измерение продольной локальной скорости микровертушкой может быть проведено с необходимой точностью. Для снижения инерционности необходимо уменьшить моменты инерции лопастей. Этому условию удовлетворяет использованная микровертушка, так как ее лопасти изготавливаются в виде тонких пластмассовых пластин незначительного веса – менее 0,1 г и диаметром в несколько миллиметров.

Микровертушку можно применять для измерения осредненных скоростей неустановившихся потоков и турбулентных пульсаций.

Предварительные результаты исследований прерывной волны. На рис. 1 представлены графики режимов изменения уровней за время прохождения прерывной волны в створах плотины и сооружения.

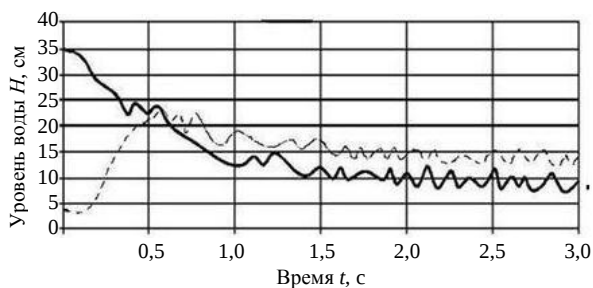


Рис. 1. Изменение режима уровней воды за время прохождения прерывной волны в створах плотины и объекта в нижнем бьефе водохранилища: — — изменение уровня воды в створе плотины; - - - - то же в створе объекта

По кривой изменения уровня воды в створе объекта видно, что за малый интервал времени происходит резкий подъем уровней воды. Основываясь на данных экспериментальных исследований, можно сделать вывод о том, что форма прерывной волны качественно представлена верно.

На рис. 2 представлены графики изменения режимов уровней и давления в створе объекта при подходе прерывной волны.

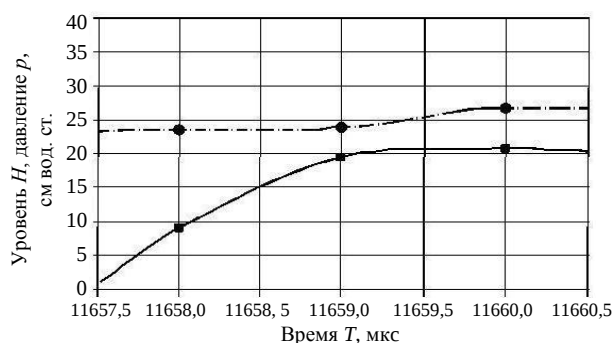


Рис. 2. Изменение режима уровней и давления в створе объекта при подходе прерывной волны: - - - - изменение уровня воды; —■— то же давления

Из анализа графиков следует, что уровни в створе объекта еще не изменились, а давление резко увеличилось. Все это позволяет предварительно утверждать, что режим изменения давлений опережает режим изменения уровней в створе объекта. Этот факт обладает неожиданной научной новизной, хотя и требует дальнейшей тщательной экспериментальной проверки.

Для оценки погрешностей измерений при нестационарном течении усовершенствована статистическая оценка погрешностей измерений [12].

В табл. 1 в качестве примера представлен фрагмент обработки показаний датчика уровня № 1.

Таблица 1

Статистическая обработка результатов уровней

Доверительная вероятность P	Показания датчика уровня № 1 $\bar{A}$	Доверительный интервал Δ	Относительная погрешность, %
0,95	3742	53,55	1,4
0,95	3733	55,38	1,4
0,95	3722	62,43	1,6
0,95	3739	76,33	2,0

0,95	3754	53,47	1,4
0,95	3741	53,64	1,4
0,95	3725	65,18	1,7

ВЫВОДЫ

Используя результаты моделирования средствами ИИС, возможно:

- исследовать физические закономерности движения волн и их взаимодействия с объектами;
- при проектировании новых объектов обоснованно определять динамическое воздействие прерывных волн на модели и после пересчета на сооружения надежнее рассчитывать их конструкции;
- оценивать устойчивость существующих сооружений;
- при необходимости защиты существующих объектов обосновывать инженерные решения по их защите в национальных нормативных документах по проектированию объектов и средств их защиты в зонах затоплений, а также в измерительных информационных системах раннего оповещения.

Создание автоматической измерительной информационной системы открывает широкие возможности исследования закономерностей гидро- и аэродинамических процессов в разрывных и плавно изменяющихся течениях, в том числе и при взаимодействии волн с объектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Стихийные** гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справ. / Республиканский гидрометеорологический центр; под науч.-метод. рук. М. А. Гольберга. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2002. – 132 с.

2. **Изменение** климата и последствия / под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.

3. **Герменчук, М. Г.** Оценки экономической эффективности обслуживания гидрометеорологической информацией отраслей экономики в Республике Беларусь / М. Г. Герменчук, В. И. Мельник // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 95–97.

4. **Национальная** система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2006. – Минск: БелНИЦ «Экология», 2007. – 350 с.

5. **Рогуневич, В. П.** Потепление и экстремальные природные явления в гидросфере Беларуси / В. П. Рогуневич // Природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 89–94.

6. **Asarin, A.** Flood control systems in Russia / A. Asarin // NATO Science Ser. IV. – 2007. – Vol. 78. – P. 353–362.

7. **Kathleen, P.** Andrew studies of ice jam flooding in the United States / P. Kathleen, M. White // NATO Science Ser. IV. – 2007. – Vol. 78. – P. 255–268.

8. **Pilarczyk, W.** Flood Protection and Management in the Netherlands / W. Pilarczyk // NATO Science Ser. IV. – 2007. – Vol. 78. – P. 385–407.

9. **Васильченко, Г. В.** Автоматизация систем получения и обработки данных при гидравлическом моделировании потоков и скоростей / Г. В. Васильченко, М. И. Абуховский, Н. Б. Нелипович // Вопросы водного хозяйства. – Минск: Ураджай, 1974. – С. 98–106.

10. **Мажбиц, Г. Л.** Экспериментальные исследования прорыва напорного фронта гидроузла через шлюзовые камеры / Г. Л. Мажбиц, И. С. Воеводина // Гидротехническое строительство. – 2001. – № 9. – С. 42–46.

11. **Экспериментальная** установка и методика исследования волн при разрушении плотины / В. И. Букреев [и др.] // Изв. вузов. Строительство. – 2006. – № 6. – С. 46–51.

12. **Рогуневич, В. П.** Измерение параметров нестационарных процессов / В. П. Рогуневич, А. Ю. Варфоломеев, В. А. Евдокимов // Метрология и приборостроение. – 2009. – № 1. – С. 23–26.

13. **Приборы** для измерения скоростей движения воды / В. П. Рогуневич [и др.] // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 5 – С. 66–70.

Поступила 11.11.2008